

SÉRIE A, N° 1131

N° D'ORDRE

1988

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

E. TECHOUÉYRES

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ACTIONS DESTRUCTRICES EXERCÉES
SUR LES BACTÉRIES EN SUSPENSION DANS L'EAU PAR LES DOSES
FAIBLES DE CHLORE INTRODUITES SOUS AGITATION VIOLENTE
ET PAR LES POUDRES MÉTALLIQUES.

2^e THÈSE. — IMMUNITÉ CHEZ LES VÉGÉTAUX. LES ENVIRONS DE REIMS AU
POINT DE VUE GÉOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE.

Soutenues le **22 MARS** 1929 devant la Commission d'Examens.

MM. PORTIER *Président.*
DEREIMS } *Examineurs.*
GUILLIERMOND }

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS (VI^e)

1929

SÉRIE A, N° 1131

N° D'ORDRE

1988

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

E. TECHOUYRES

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ACTIONS DESTRUCTRICES EXERCÉES
SUR LES BACTÉRIES EN SUSPENSION DANS L'EAU PAR LES DOSES
FAIBLES DE CULORE INTRODUITES SOUS AGITATION VIOLENTE
ET PAR LES POUDRES MÉTALLIQUES.

2^e THÈSE. — IMMUNITÉ CHEZ LES VÉGÉTAUX. LES ENVIRONS DE REIMS AU
POINT DE VUE GÉOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE.

Soutenues le **22 MARS** 1929 devant la Commission d'Examens.

MM. PORTIER	<i>Président.</i>
DEREIMS	} <i>Examineurs.</i>
GUILLIERMOND	

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS (VI^e)

1929

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.
Doyens honoraires. . . . P. APPELL, M. MOLLIARD.

Professeurs honoraires. { A. JOANNIS.
H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.
A. LEDUC.
R. DONGIER.
E. HEROUARD.

EMILE PICARD Analyse supérieure et algèbre supérieure.
G. KOENIGS Mécanique physique et expérimentale.
E. GOURSAT Calcul différentiel et calcul intégral.
P. JANET Electrotechnique générale.
F. WALLERANT . . . Minéralogie.
H. ANDOYER Astronomie.
P. PAINLEVE Mécanique analytique et mécanique céleste.
GABRIEL BERTRAND . Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE Physique générale et radioactivité.
M. CAULLERY Zoologie (Evolution des êtres organisés).
G. URBAIN Chimie générale.
EMILE BOREL Calcul des probabilités et Physique mathém.
L. MARCHIS Aviation.
JEAN PERRIN Chimie physique.
RÉMY PERRIER . . . Zoologie (Enseignement P. C. N.).
H. ABRAHAM Physique.
M. MOLLIARD Physiologie végétale.
E. CARTAN Géométrie supérieure.
L. LAPICQUE Physiologie générale.
E. VESSIOT Théorie des fonctions et théorie des trans-

Professeurs { A. COTTON Physique générale.
J. DRACH Application de l'analyse à la géométrie.
CHARLES FABRY . . . Physique.
CHARLES PÉREZ . . . Zoologie.
LÉON BERTRAND . . . Géologie structurale et géologie appliquée.
R. LESPIEAU Théories chimiques.
E. RABAUD Biologie expérimentale.
P. PORTIER Physiologie comparée.
É. BLAISE Chimie organique.
P.-A. DANGEARD . . . Botanique.
PAUL MONTEL Mécanique rationnelle.
P. WINTREBERT . . . Anatomie et histologie comparées.
O. DUBOSQ Biologie maritime.
G. JULIA Mathématiques générales.
A. MAILHE Etude des combustibles.
L. LUTAUD Géographie physique et géographie dynam.
EUGÈNE BLOCH . . . Physique théorique et physique céleste.
HENRI VILLAT . . . Mécanique des fluides et applications.
CH. JACOB Géologie.
P. PASCAL Chimie minérale.
LÉON BRILLOUIN . . . Théories physiques.
N.... Chimie appliquée.



E. PÉCHARD Chimie (Ens ^t P. C. N.).	H. MOUTON Chimie physique.
V. AUGER Chimie analytique.	L. JOLEAUD Paléontologie.
M. GUICHARD . . . Chimie minérale.	M. JAVILLIER . . . Chimie biologique.
A. GUILLET Physique.	A. DUFOUR Physique (P. C. N.).
G. MAUGUIN Minéralogie.	F. PICARD Zoologie (Evolution des
L. BLARINGHEM . . Botanique.	êtres organisés).
A. MICHEL-LÉVY . . Pétrographie.	ROBERT-LÉVY . . . Zoologie.
A. DEREIMS Géologie.	L. DUNOYER Optique appliquée.
A. DENJOY Calcul différentiel et intégral.	A. GUILLIERMOND . Botanique (P. C. N.).
H. BÉNARD Physique (P. C. N.).	A. DEBIERNE . . . Radioactivité.
E. DARMOIS Physique.	M. FRECHET . . . Calcul des Probabilités et
G. BRUHAT Physique.	Physique mathém.

Secrétaire. DANIEL TOMBECK.

CONTRIBUTION
A L'ÉTUDE DES ACTIONS DESTRUCTRICES
EXERCÉES SUR LES
BACTÉRIES EN SUSPENSION DANS L'EAU
PAR LES DOSES FAIBLES DE CHLORE
INTRODUITES SOUS AGITATION VIOLENTE
ET PAR LES POUDRES MÉTALLIQUES

Ce travail se divise en deux parties :

1° La première traite de l'influence exercée sur les bactéries en suspension dans l'eau par les doses faibles de chlore introduites au cours d'une agitation violente. Il est fait application de ces données au problème de la purification des eaux de consommation ;

2° La seconde partie vise l'action exercée sur la même vie microbienne par des poudres métalliques, à divers états de suspension.

AVANT-PROPOS

Qu'il me soit permis de déclarer dès l'abord, obéissant à un scrupule de conscience, que ce travail n'a pas été inspiré, comme c'est la coutume, par l'unique souci de la recherche désintéressée. Il fut, au contraire, forgé au feu des nécessités qui, sans répit, pressaient d'agir pour doter une grande cité des organisations susceptibles d'améliorer les conditions générales de l'hygiène et de la salubrité.

Je n'ignore pas qu'au regard des usages la fin utilitaire assignée à un travail lui soit imputée à grief et que sa conception paraisse de ce chef entachée d'une souillure originelle.

Mais cette prévention ne saurait résister à une explication loyale qui réclame en son terme le bénéfice d'une légitime rédemption.

Il ne semble pas, en effet, que cette imperfection présumée soit fondée en raison. Car il n'existe pas de différence fondamentale entre les recherches de science pure et celles qui, cédant aux sollicitations de la vie, s'efforcent de maîtriser les phénomènes afin de les plier au gré de nos besoins. La distinction entre ces deux formes de la recherche n'est pas essentielle et l'on ne saurait justement maintenir quelque degré de prévalence de l'une sur l'autre. Ce sont deux modes particuliers de l'activité intellectuelle qui se complètent plus qu'ils ne s'opposent et tendent, par des voies différentes, au même objet.

Toutes nos pensées sont, en effet, orientées vers l'action. Elles y tendent comme à leur fin naturelle, et si elles se distinguent de l'action qu'elles prescrivent, c'est par l'infirmité de notre nature plus que toute autre cause, puisque, suivant Paul Valéry, à un dieu seulement est réservée l'ineffable indistinction de son acte et de sa pensée.

Par la fâcheuse rencontre des nécessités qui nous ont alourdis de matière, le geste est désormais associé aux mouvements de l'esprit ;

la pensée qui veut s'affranchir des conditions de l'action utile doit faire effort pour se ressaisir et pour redevenir une pure énergie créatrice; mais alors, allégée de ses entraves et délestée de ses chaînes, elle s'envole, inexperte, vers les nuées métaphysiques.

Notre faculté de comprendre fut édifiée sur des intérêts étroitement pratiques et la connaissance est incomplète tant qu'elle n'a pas abouti à un acte.

Aussi ne semble-t-il pas qu'il y ait une différence de nature dans notre manière de réagir devant la représentation d'un objet concret dont nous recherchons le maniement avantageux, et devant celle d'un rapport abstrait dont nous souhaitons de vérifier l'existence, afin de pénétrer le secret des liaisons qu'il exprime.

Si la connaissance a pour objet, comme le dit Hegel, d'enlever au monde objectif son caractère étranger afin que nous nous y sentions plus chez nous, la méthode choisie pour y atteindre n'importe guère. Il suffit qu'on ait le souci ardent d'y parvenir; car William James affirme que les premiers à qui les choses se révèlent sont ceux qui les désirent le plus passionnément.

L'action a sa noblesse, comme la pensée; elle comporte même quelques risques supplémentaires. Il convient donc que les recherches qu'elle provoque et les curiosités qu'elle éveille — pour autant qu'elles revêtent le caractère et empruntent les méthodes de la science — soient l'objet de la même considération.

On n'ignore pas d'ailleurs que si cette voie conduit, tout comme l'autre, à quelques précisions nouvelles, elle mène aussi à quelques incertitudes, et l'on ferait volontiers une application personnelle de cette parole d'Omar Khayyam qui se réjouissait d'être devenu savant lorsqu'il lui fut révélé en ses méditations que « un » est le premier chiffre du nombre qui ne finit pas.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DE L'INFLUENCE EXERCÉE SUR LES BACTÉRIES PAR LES DOSES FAIBLES DE CHLORE INTRODUITES SOUS AGITATION VIOLENTE

Application à la purification des eaux destinées à la consommation.

Un hygiéniste n'a pas de devoir plus strict que la surveillance des eaux potables. Ce soin fut encore plus pressant au lendemain de la guerre dans les régions dévastées. Parmi les questions de tous ordres qui se posent à la sagacité et à l'activité d'un directeur de bureau d'hygiène, il n'en est pas de plus urgente.

A Reims, le problème se présente de la façon suivante. La ville emprunte ses eaux de consommation au sous-sol crayeux sur lequel elle repose. Trois puits assurent une captation suffisante; l'eau, aspirée par des pompes, est refoulée dans un vaste réservoir de distribution et consommée, jusqu'en 1924, sans désinfection préalable.

La guerre, qui a bouleversé le sol et le sous-sol, a modifié, aussi, bien des habitudes et apporté des changements profonds au régime de la vie sociale. Ces modifications se sont fait sentir jusque dans le choix des terrains d'habitation.

L'ouvrier et le petit bourgeois, fuyant les agglomérations, se sont dispersés dans les faubourgs; ils ont étendu leurs emprises aussi loin que les commodités urbaines le leur permettaient. Cette tendance à s'éparpiller dans la campagne, suivant la formule anglaise, est, au point de vue de l'hygiène et même du progrès social, tout à fait louable. Elle ne présente que des avantages pour l'habitant.

Mais il n'est pas d'améliorations sans défauts inhérents. Il faut payer le progrès de quelque manière que ce soit.

Ces habitations et petits cottages se sont édifiés en ordre dispersé au voisinage des puits de captation, sans souci des pollutions possibles de la nappe souterraine. Il ne pouvait être question d'arrêter ce mouvement de reconstruction, et moins encore d'acheter, à gros deniers, d'excessives étendues de terrain. Il fallait donc considérer le mal comme déjà réalisé et faire la part du feu, c'est-à-dire s'armer non contre l'éparpillement des habitations nouvelles, mais contre la contamination éventuelle et sans doute prochaine de l'eau de boisson. C'est à quoi l'on s'est résolu.

On rejeta *a priori* toute installation de stérilisation qui aurait entraîné des dépenses considérables d'installation, des risques d'arrêt en cours d'exploitation et une surveillance minutieuse pour assurer un fonctionnement régulier (désinfection par l'ozone ou les rayons ultra-violet). On chercha un procédé qui garantit les eaux potables contre une surprise de pollution tout en leur laissant leur goût agréable et en ne créant aucune charge pécuniaire excessive.

On adopta l'appareil auto-javelliseur de M. Philippe Bunau-Varilla¹, en même temps que sa méthode d'antisepsie des eaux qui consiste à n'employer que des doses ultra-réduites d'hypochlorite de soude.

L'originalité de cette méthode réside non seulement dans l'usage d'un appareil automatique, mais aussi dans l'emploi de doses efficaces d'hypochlorite de soude qui soient cependant au-dessous de la limite de perception par le goût. Car il s'agit, en somme, de purifier une eau sans la dépouiller de ses qualités habituelles d'agréable saveur.

Il convenait donc de déterminer dès l'abord de quelles quantités d'eau de Javel on peut charger une eau sans modifier ses caractères organoleptiques, tout en s'assurant expérimentalement que les doses, inaperçues, sont cependant efficaces.

Des essais ont été effectués en premier lieu sur l'eau de Reims, puis sur des eaux d'autre origine. Nous passerons successivement en revue les résultats obtenus dans ces différents cas.

ESSAIS DE STÉRILISATION EFFECTUÉS SUR UNE EAU DESTINÉE A LA CONSOMMATION (EAU DE REIMS).

L'eau de Reims est une eau de terrain calcaire, dont la teneur en matières organiques, à peu près constante, est légèrement inférieure

1. Cet appareil et cette méthode ont été créés et mis en pratique pour la première fois, en 1916, sur le front de l'armée de Verdun, par M. Philippe Bunau-Varilla, alors chef de bataillon du Génie et directeur du Service des Eaux.

à 1 milligramme (valeur exprimée en oxygène en solution alcaline). Son pH est de 7,6. Sa composition chimique moyenne est la suivante :

		EN MILLIGRAMMES par litre d'eau
Matière organique (évaluée en oxygène en solution alcaline) .		0,9
Azote	organique (en AzH^3)	Traces.
	ammoniacal (en AzH^3)	Néant.
	nitreux (en Az^2O^3)	Néant.
	nitrique (en Az^2O^3)	12,9
Chlorures (en Cl)		9,3
Sulfates (en SO^3)		13,2
Degré hydrotimétrique total		21°5

L'hypochlorite de soude ajouté à cette eau ne devient perceptible qu'à partir de 3 décimilligrammes de chlore libre par litre. Au-dessous de cette limite, le goût de l'eau n'est pas modifié¹.

Pour s'assurer que les doses de chlore libre, inférieures à 3 décimilligrammes par litre, sont réellement antiseptiques, on a institué un très grand nombre d'expériences, dont le détail varie peu, et qui consistent toutes à infecter l'eau de Reims² avec des cultures récentes de colibacilles ou de bacilles d'Eberth.

Le protocole de ces expériences a été le suivant :

1° Des ballons contenant un litre d'eau sontensemencés avec des émulsions microbiennes homogènes dont la richesse varie de 10.000 à 50.000 bactéries par litre ;

2° Ces ballons reçoivent des quantités variables d'eau de Javel nécessaires pour constituer une série de dilutions respectivement égales à 1/2, 1 et 2 décimilligrammes de chlore libre par litre ;

3° Dans ces ballons ainsi contaminés, des prélèvements sont opérés après des temps variables de trente minutes à une heure. L'eau ainsi prélevée estensemencée immédiatement : à la dose de 1 cent. cube en bouillon, ou à la dose de 10 cent. cubes en bouillon et en gélose ;

1. Il convient de noter que la saveur du chlore est d'autant mieux perçue dans une eau javellisée que la quantité de matières organiques contenues dans cette eau est plus faible. Ainsi l'on perçoit une saveur de chlore après addition de 3 décimilligrammes de chlore libre à l'eau d'alimentation de Reims (1 milligramme de matières organiques), alors que la même saveur n'est perçue dans l'eau de la Vesle (petite rivière de Champagne, 3 milligrammes de matières organiques), qu'après une addition de 4 décimilligrammes de chlore libre par litre d'eau.

2. Il faut noter qu'on ne pouvait pratiquer d'expérience en série sur l'eau de Reims naturelle, j'entends non artificiellement contaminée. En effet, cette eau n'est qu'accidentellement souillée par des colibacilles. C'est d'ailleurs pour parer à un danger éventuel, actuellement inconstant, mais dont la menace était certaine et s'est depuis vérifiée, qu'a été réalisée l'installation d'auto-javellisation.

4° Les tubes, ballons ou boîtesensemencés sont examinés après vingt-quatre heures et quarante-huit heures de séjour à l'étuve.

Les résultats doivent être considérés séparément suivant la méthode d'ensemencement qui a été pratiquée.

A. — ENSEMENCEMENT DE 1 CENT. CUBE EN BOUILLON¹.

Sur 19 expériences, 10 donnent des résultats absolument concordants : stérilité absolue du bouillon, qu'il s'agisse d'ensemencement de colibacille ou de bacille typhique, que le temps de contact ait duré trente minutes ou une heure, que l'observation de la culture à l'étuve soit poursuivie vingt-quatre heures, quarante-huit heures ou, pour certaines expériences, quatre et même cinq jours, que la dose d'hypochlorite ait été 1/2, 1 ou 2 décimilligrammes.

Sur trois autres expériences, la dose de 1/2 décimilligramme s'est montrée insuffisante et le bouillonensemencé a donné lieu à une culture positive. Mais les doses de 1 et 2 décimilligrammes ont assuré une stérilisation complète.

Enfin, six autres expériences ont donné lieu à des résultats singuliers, et apparemment contradictoires, la stérilité étant obtenue avec des doses faibles (1/2 ou 1 décimilligramme), alors qu'un ensemencement provenant d'une eau traitée avec une dose plus élevée de chlore (2 décimilligrammes) donnait lieu à une culture positive.

Il résulte de cette première série d'observations qu'une eau artificiellement contaminée par un nombre très élevé de bacilles coli ou typhiques et traitée par des doses de chlore libre très faibles se montre habituellement dépourvue de bacilles vivants, lorsque la vérification de sa stérilité porte sur un petit volume, soit sur 1 cent. cube.

B. — ENSEMENCEMENT DE 10 CENT. CUBES EN BOUILLON.

Lorsque la vérification porte sur des quantités plus considérables, les ensemencements deviennent positifs. Il ne saurait être surprenant que les très faibles doses de substance antiseptique se montrent inhabiles à détruire en peu de temps la totalité des germes introduits expérimentalement dans une eau, alors que la pollution a dépassé considérablement, par le nombre des germes infectants, les

1. Il s'agit de bouillon ordinaire, non phéniqué.

quantités de bactéries habituellement présentes dans une eau naturellement contaminée.

Pour vérifier le bien ou le mal fondé de la méthode, il importe de substituer ici à la manifestation grossière d'un résultat de masse (culture en bouillon, positive ou négative) un procédé plus délicat d'analyse qui permette la numération.

A cet effet, on remplace les ensemencements en bouillon par des ensemencements en gélose (boîtes de Roux).

C. — ENSEMENCEMENT DE 10 CENT. CUBES EN GÉLOSE.

Des ballons renfermant 1 litre d'eau, ensemencée avec des émulsions microbiennes, homogène (colibacille ou bacille typhique),

Expériences effectuées avec le bacille typhique.

	TÉMOINS	DÉCIMILLIGRAMMES DE CHLORE LIBRE par litre		
		0,5	1	2
Première expérience	69	25	8	0
Deuxième expérience	180	»	28	0
Troisième expérience	26	2	1	0
Quatrième expérience	326	1	0	1
Cinquième expérience	249	0	0	0
Sixième expérience	150	0	0	0

Expériences effectuées avec le colibacille.

	TÉMOINS	DÉCIMILLIGRAMMES DE CHLORE LIBRE par litre		
		0,5	1	2
Première expérience	72	3	0	12
Deuxième expérience	73	3	1	0
Troisième expérience	13	1	0	0
Quatrième expérience	168	0	0	0
Cinquième expérience	572	0	0	0

reçoivent des quantités variables d'eau de Javel nécessaires pour constituer une série de dilutions respectivement égales à 1/2, 1 et

2 décimilligrammes de chlore libre par litre. Un ballon témoin reçoit l'émulsion bactérienne sans addition de chlore. Certains des ballons mis en expérience ne sont pas agités, d'autres le sont ainsi que cela est expliqué plus loin.

Après une heure de contact, on prélève dans chaque ballon 10 cent. cubes d'eau qui sont aussitôt ensemencés en gélose.

Voici le nombre de colonies par 10 cent. cubes¹ (tableaux précédents).

ESSAI DE STÉRILISATION D'UNE EAU DE RIVIÈRE (EAU DE LA MARNE).

Afin de donner un caractère pratique aux expériences qui précèdent, j'ai essayé de stériliser par la méthode des doses faibles certaines eaux chargées de matières organiques ou pré-entant du moins, par vertu naturelle, un caractère impropre à la consommation.

Mes expériences ont porté d'abord sur l'eau de la Marne, prélevée immédiatement en amont d'Epernay. Cette rivière ou ses affluents ont subi dans leurs cours antérieurs les contacts de Bar-le-Duc, de Vitry-le-François et de Châlons-sur-Marne.

L'eau de la Marne a une teneur en matières organiques qui oscille entre 1 et 2 milligrammes (valeur exprimée en milligrammes d'oxygène en solution alcaline). Son pH est de 8,7.

On a recherché d'abord quelle dose de chlore libre détruit ses bactéries naturelles. A cet effet, l'eau de la Marne répartie en ballons d'un litre a été soumise pendant une heure à l'action de doses de chlore libre respectivement égales à 1, 2 et 3 décimilligrammes. Un ballon servait de témoin.

Puis on a ensemencé 1 cent. cube de chacun de ces ballons en gélatine (méthode des boîtes de Petri). La numération des germes a été effectuée après dix jours de culture, les boîtes de Petri ayant été abandonnées à la température du laboratoire.

Voici le résultat d'une expérience (tableau suivant).

Plusieurs expériences semblables ont été répétées avec le même résultat : stérilisation à peu près complète, ou tout au moins diminution considérable du nombre des bactéries présentes dans l'eau de la Marne, sous l'action d'une dose de 3 décimilligrammes.

Puis il a été procédé à une autre expérience. Afin de la débarrasser de ses germes naturels, l'eau de la Marne a été stérilisée à l'autoclave. On l'a ensuite répartie en ballons d'un litre ; on l'a réinfectée avec

1. La numération ne porte que sur les colonies de bacille typhique ou de colibacille et non sur des germes d'ordre banal tels que le *Bacillus subtilis*.

des dilutions de bacilles coli ou de bacilles typhiques. Chacun de ces ballons (hormis les témoins) a été soumis, aussitôt après l'infection, à l'action de doses de chlore libre respectivement égales à 1, 2 et 3 décimilligrammes. Après une heure de contact, des prélèvements de 10 cent.

NOMBRE DE COLONIES PAR CENTIMÈTRE CUBE	
Témoin	Inombrable, gélatine promptement liquéfiée.
Quantité de chlore libre par litre. { 1 décimilligramme . .	16 liquéfiant, 150 non liquéfiant.
{ 2 décimilligrammes . .	8 liquéfiant, 80 non liquéfiant.
{ 3 décimilligrammes . .	0 liquéfiant, 9 non liquéfiant.

cubes d'eau ont été opérés dans les ballons témoins et les ballons en expérience; l'ensemencement a été fait en gélose (boîtes de Roux) et l'on a dénombré les colonies après quarante-huit heures d'élevage.

Voici le nombre des colonies par 10 cent. cubes :

Expériences effectuées avec le bacille typhique.

	TÉMOINS	DÉCIMILLIGRAMMES DE CHLORE LIBRE par litre		
		1	2	3
Première expérience	918	76	3	0
Deuxième expérience	120	2	0	0

Expériences effectuées avec le colibacille.

	TÉMOINS	DÉCIMILLIGRAMMES DE CHLORE LIBRE par litre		
		1	2	3
Première expérience	1.209	»	24	2
Deuxième expérience	661	301	72	1

L'examen de ces tableaux montre tout d'abord que le colibacille semble plus résistant que le bacille typhique. Cette indication ne saurait surprendre les bactériologistes. Il montre, en outre, que le contact de 1 décimilligramme de chlore libre durant une heure fait disparaître 91 p. 100 des bacilles typhiques dans une eau de rivière chargée de 91.800 bacilles par litre et 98 p. 100 dans la même eau chargée de 12.000 bacilles par litre. La stérilisation complète est obtenue, dans les conditions de l'expérience, avec 2 ou 3 décimilligrammes.

L'établissement des mêmes rapports relatifs aux expériences avec le colibacille montre que le contact de 1 décimilligramme de chlore libre durant une heure a fait disparaître 75 p. 100 des colibacilles présents dans une eau de rivière qui en renferme 120.000 par litre, 63 p. 100 dans la même eau chargée de 66.000 colibacilles ; mais le contact de 2 décimilligrammes durant une heure a fait disparaître dans les mêmes eaux respectivement 98 p. 100 et 89 p. 100 des colibacilles présents ; une stérilisation presque complète est obtenue (99,81 p. 100 et 99,84 p. 100) avec 3 décimilligrammes.

INFLUENCE DU BRASSAGE.

On peut remarquer à la lecture des tableaux relatant les expériences effectuées avec l'eau de Reims que la stérilisation a été moins parfaite dans les premières expériences que dans les expériences ultérieures. Entre les premières et les dernières expériences, en effet, le processus expérimental a légèrement varié, on s'est appliqué à agiter fréquemment les ballons de façon à obtenir un mélange plus intime, et à se rapprocher d'ailleurs des conditions de la pratique, où l'eau qui reçoit la liqueur hypochloritée est entraînée dans des tourbillons incessants, tant au passage à travers la trompe à eau que dans les conduites de refoulement et dans le réservoir lui-même. Cette pratique, j'entends l'agitation ou brassage, qui paraît *a priori*, d'importance secondaire, semble posséder, au contraire, une valeur de premier plan.

J'ai institué à cet effet une expérience qui a consisté à soumettre pendant dix minutes, temps très court, une eau contaminée par le bacille typhique (40.000 par litre) à l'action de doses très faibles de chlore libre (respectivement égales à 3 et 5 centimilligrammes) mais en procédant à une agitation continue des ballons. Après dix minutes, on a ensemené 10 cent. cubes de cette eau en gélose et la numé-
ra-

tion a été effectuée après quarante-huit heures d'étuve. On a relevé 70 colonies dans l'eau traitée par 3 centimilligrammes et 5 colonies dans l'eau traitée par 5 centimilligrammes, nombres qui, rapportés au litre, donnent respectivement les valeurs de 7.000 et 500 bactéries, accusant ainsi la disparition de 82,5 p. 100 et 98,75 p. 100 des colonies présentes à l'origine.

Pour attribuer à ce résultat toute sa valeur, il faut remarquer que l'action antiseptique s'est fait sentir durant un temps très bref et avec des doses extrêmement faibles. Il y a lieu de penser que la stérilisation est plus parfaite quand l'action des faibles doses se poursuit dans un temps plus long. Or il semble résulter d'une observation fortuite que le chlore introduit au cours de la javellisation (au taux de 2 décimilligrammes par litre) persiste dans l'eau sous forme libre, ou du moins libérable, pendant plus de vingt-quatre heures.

J'ai pu remarquer, en effet, et faire observer aux moins prévenus, que l'eau de boisson de Reims, javellisée certain jour à titre d'expérience à la dose de 2 décimilligrammes (dose imperceptible au goût), dégageait une odeur de chlore très sensible lorsque cette eau était pulvérisée en gouttelettes infiniment ténues, comme il se produit lorsqu'un jet violent est reçu et brisé au fond d'un verre. Or, cette eau, dont il est emmagasiné 20.000 mètres cubes pour une distribution journalière de 12.000 à 15.000 mètres cubes en hiver, n'est donc consommée qu'après un séjour de plusieurs heures dans les canalisations et réservoirs. Le chlore que l'on retrouve libre en un point quelconque de ces canalisations est mélangé à l'eau et dissous dans sa masse depuis le même temps. Ce dégagement tardif de chlore sous forme de molécule gazeuse, d'odeur caractéristique, indique que ce corps s'est maintenu libre et actif et ne s'est embarrassé d'aucune liaison définitive avec les matières organiques présentes. Il est raisonnable de supposer qu'il poursuit son action stérilisante d'une façon continue, ébauche d'un pouvoir rémanent, comme J. Blanc en a depuis administré la preuve.

Le D^r J. Blanc, ancien moniteur de bactériologie à l'Institut Pasteur, a effectué en effet des expériences qui précisent singulièrement l'influence du brassage. Voici le protocole de ces expériences :

On répartit 4 litres d'eau brute de rivière dans 4 flacons stérilisés de 1 litre. On ajoute au même instant à chaque flacon une dose d'hypochlorite correspondant à 2 décimilligrammes de chlore libre par litre. Après cinq minutes de contact, on ensemence chaque flacon en bouillon phéniqué et on compte, après quarante-huit heures de

séjour à l'étuve à 41°5, le nombre des colibacilles développés. Mais pour chaque flacon l'introduction du chlore se fait selon des modalités différentes.

Dans le flacon 1 on laisse tomber l'hypochlorite sans toucher au flacon : flacon immobile.

Pour le flacon 2, on pratique une violente et rapide agitation cinq minutes après l'introduction du chlore : flacon agité après.

Le flacon 3, au contraire, est agité d'abord violemment et on n'ajoute le chlore que lorsque le tourbillon de l'eau n'est plus perceptible : flacon agité avant.

Enfin, pour le flacon 4, le brassage, commencé quelques secondes avant l'introduction du chlore, n'est cessé que quelques secondes après pour que l'antiseptique soit projeté dans une eau en mouvement : flacon agité avant et pendant.

Voici, après quarante-huit heures, les résultats en colibacilles par litre :

Flacon immobile	600
— agité après	500
— — pendant	800
— — avant et pendant	0

On ne peut demander de conclusion plus formelle; aussi conviendra-t-il dans la pratique de la purification des eaux potables d'introduire le chlore au point de la canalisation où le brassage est le plus énergique, c'est-à-dire immédiatement avant les pompes.

Remarquons tout de suite une analogie troublante dans la nécessité de l'agitation des eaux traitées par l'alun (aux Etats-Unis), pour clarifier et pour épurer les eaux de surface : le brassage est là aussi le facteur le plus important de la coagulation, et l'intensité et la durée de l'agitation sont, en gros, inversement proportionnelles l'une à l'autre (C. R. Cox. 1924).

Le pouvoir antiseptique rémanent est également affecté par la technique d'introduction du chlore. Aussi, n'est-il pas extraordinaire de voir un expérimentateur malhabile nier l'existence du pouvoir rémanent parce qu'il est dans l'impossibilité de le constater.

En voici une démonstration éclatante. Reprenons nos 4 flacons après addition de l'hypochlorite selon les modalités décrites. Plaçons-les à la glacière (à 8°) pendant quinze à dix-huit heures et commençons ensuite l'eau de chaque flacon sur le milieu peptoné phé-

nique usuel. Après quarante-huit heures, nous obtenons une nouvelle numération en colibacilles par litre :

Flacon immobile (n° 1)	650
agité après n° 2	20
avant n° 3	20
— avant et pendant (n° 4)	0

Pendant le séjour à la glacière, les flacons agités se sont débarassés à peu près complètement de leurs colibacilles, le flacon maintenu immobile est seul demeuré contaminé quoiqu'il renferme la même quantité d'antiseptique.

Pour le pouvoir rémanent, le temps de l'agitation paraît donc indifférent, à la condition, cependant, qu'on procède à un moment quelconque (suffisamment rapproché de l'introduction du chlore) à un brassage violent.

En conclusion, il est faux de prétendre que l'agitation n'a qu'un rôle illusoire et négatif, et nous devons suspecter, à juste titre, toutes les stérilisations à doses infinitésimales sur des liquides au repos ou en mouvement lent.

Blanc a démontré d'autre part que le brassage violent déterminé par l'action de pompes centrifuges a pour résultat de répartir si parfaitement la liqueur hypochloritée, automatiquement entraînée, qu'il suffit de quelques fractions de minute pour réaliser avec 1 décimilligramme de chlore libre l'épuration d'une eau qui contient 500 à 1.000 colibacilles et qui porte une charge de matières organiques égale ou supérieure à 1 milligr. 25 par litre (dosage effectué en milieu alcalin).

TEST DE CHLORE ET MATIÈRES ORGANIQUES.

On a pu remarquer que je n'ai pas encore fait allusion à l'influence exercée par les matières organiques sur le chlore.

Les travaux de M. Dienert reposent sur cette hypothèse qu'il convient de déterminer préalablement à toute javellisation la quantité de chlore qui, dans des conditions et des temps définis par sa méthode, est retenue par la matière organique de l'eau, et d'ajouter à ladite eau une quantité totale de chlore libre telle qu'elle comprenne la dose normalement retenue par les matières organiques, plus un supplément variable dont il a lui-même, au cours des années successives (1921-1928), ramené la teneur de 5 à 0 décimilligr. 5. C'est là le test de chlore de M. Dienert,

On ne saurait discuter la réalité des faits, quand ils sont bien observés. Il est, en effet, certain qu'une eau chargée de matières organiques fixe une certaine quantité de chlore. Le chlore qui est ainsi retenu est aussi bien capté par les matières organiques non vivantes que par les matières organiques vivantes. Aucune discrimination ne doit s'opérer de ce chef.

Mais voici une observation importante. La quantité de chlore fixée n'est pas, comme on pourrait le croire, une fonction déterminée et fixe de la quantité de matières organiques.

Il ne semble pas que la fixation du chlore soit une réaction proprement chimique, régie par la loi d'action des masses, et telle que les renseignements qu'on tire d'une seule expérience pour une eau de qualité définie soient valables pour toutes autres expériences effectuées dans les mêmes conditions avec la même eau. A la notion « fixiste » du test de chlore défini plus haut, il y aurait lieu de substituer l'indication moins précise d'une réaction dirigée par les propriétés de surface et apparentée aux phénomènes d'adsorption ou de teinture.

Les expériences suivantes jettent sur cette interprétation quelque lumière.

On répartit de l'eau de la Marne en trois ballons d'un litre. On ajoute à chacun des quantités d'hypochlorite de soude, correspondant respectivement à $1/2$ milligramme, 3 milligrammes et 6 milligrammes de chlore libre.

Après une demi-heure de contact, on recherche quelle quantité de chlore a été fixée par l'eau.

On trouve les chiffres suivants :

Premier échantillon	0 milligr. 43
Deuxième échantillon	1 milligr. 42
Troisième échantillon	4 milligr. 74

Ces chiffres correspondent respectivement à 86 p. 100, 47,3 p. 100 et 29 p. 100 de la quantité de chlore introduite.

Il résulte de cette expérience que la quantité de chlore fixée varie, pour un même taux de matières organiques présentes dans une eau donnée, avec la quantité de chlore qui est offerte à la fixation.

Autre expérience. Un unique échantillon de l'eau de la Marne (1 litre) reçoit en trois temps successifs les quantités de chlore libre suivantes : $1/2$ milligramme, une demi-heure plus tard 3 milligrammes, et une autre demi-heure plus tard 3 autres milligrammes.

Avant chaque addition nouvelle et aussi en fin d'expérience, on détermine la quantité de chlore fixée par l'eau. On trouve les chiffres suivants :

Après addition de 1/2 milligramme	0 milligr. 43
— suraddition de 3 milligrammes	4 milligr. 75
— nouvelle suraddition de 3 milligrammes.	3 milligr. 23

Ces chiffres correspondent respectivement à 86 p. 100, 50 p. 100 et 49,6 p. 100 de la quantité totale de chlore introduite.

Il résulte de cette deuxième expérience qu'un même volume d'eau, renfermant un taux déterminé de matières organiques, fixe beaucoup plus de chlore lorsque celui-ci lui est offert par des additions successives que lorsqu'il est introduit d'emblée d'une façon massive.

On peut rapprocher ce phénomène des faits étudiés dès 1900 par Bordet, montrant l'influence du « fractionnement » sur l'équilibre final des interactions d'antigène et d'anticorps, et le classer parmi les phénomènes d'adsorption qui comprennent toutes les fixations de substances gazeuses ou dissoutes sur une autre substance, sans qu'interviennent, à proprement parler, ni réaction chimique, ni dissolution.

ESSAI D'EXPLICATION DE L'ACTION DES DOSES FAIBLES.

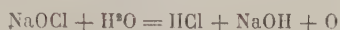
Il est légitime, lorsqu'on s'engage dans une voie nouvelle, d'explorer le terrain au delà même des limites imparties à l'expérience; la curiosité est un défaut pardonnable, qui est l'aiguillon même de la recherche. Aussi, m'excusera-t-on d'avoir jeté par-dessus les barrières de la bactériologie, de la chimie et de l'hygiène quelques regards indiscrets.

L'influence indéniable des doses très faibles de chlore (1/2 et 1 décimilligramme) incitait à rechercher si des doses encore inférieures ne produiraient pas d'action perceptible. Or, on constate, non sans étonnement, l'influence certaine, quoique irrégulière en ses manifestations, de quantités dix fois plus faibles appartenant à l'ordre du centimilligramme.

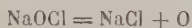
Si l'on fait agir, en effet, pendant dix minutes sur des émulsions microbiennes (colibacille ou bacille typhique) des doses respectivement égales à 1 et à 3 centimilligrammes de chlore libre, on constate, après avoirensemencé en gélose 10 cent. cubes de ces émulsions, que le nombre des colonies développées après un séjour de

vingt-quatre heures à l'étuve est très nettement amoindri et que ces colonies présentent toutes un retard évident dans leur développement, retard appréciable par comparaison avec les ensemencements témoins.

Aux termes des théories en cours, on admet que l'hypochlorite de soude agit par oxydation. Le mécanisme généralement invoqué pour expliquer cette oxydation est le suivant : le chlore de l'hypochlorite, possédant une grande affinité pour l'hydrogène, décompose l'eau en fixant son hydrogène et libérant l'oxygène ; celui-ci exerce alors une action d'oxydation sur les matières organiques. La théorie de l'opération se traduit par :



On peut encore supposer que la molécule se réduise en soude et oxygène comme cela a lieu en présence d'un catalyseur :



En tous cas, à un atome de chlore engagé correspondra un atome d'oxygène dégagé.

En substituant aux nombres d'atomes les poids atomiques correspondants (le poids atomique du chlore étant 35,5 et celui de l'oxygène étant 16), on remarque qu'il faudrait 35,5 de chlore en poids pour libérer 16 d'oxygène en poids, soit environ deux fois plus en poids de chlore que d'oxygène.

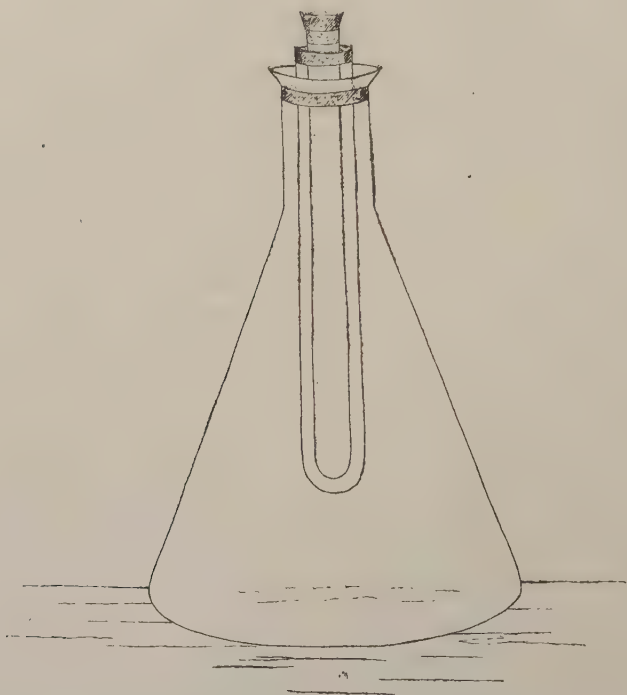
Or, l'expérience nous a appris que l'eau de Reims fixe par litre sur ses matières organiques 1 milligramme d'oxygène. Dans la mesure où cette fixation signifie oxydation, celle-ci ne pourrait être provoquée par l'entremise de l'hypochlorite qu'en ajoutant un poids de chlore double de celui de l'oxygène que l'on veut dégager. Et nous savons qu'il suffit d'une fraction infime de ce poids pour provoquer la destruction de la vie microbienne.

On se demande dès lors s'il est convenable d'expliquer ces résultats par le jeu normal des théories ou des lois qui interprètent ou régissent les réactions chimiques ordinaires, ou s'il ne serait pas indiqué de rechercher une explication particulière plus spécialement adaptée à l'ordre de phénomènes révélés par ces expériences.

M. Jean Perrin a formulé dans un remarquable mémoire, intitulé : Matière et lumière (*Annales de physique*, 1919), une admirable hypo-

thèse d'après laquelle toutes les réactions chimiques (soudures ou ruptures de valences) et, d'une manière générale, les changements d'état des corps s'accompagneraient d'émission ou de captation d'un rayonnement particulier.

Cette hypothèse pouvant s'appliquer avec fruit aux expériences relatées en cette note, des vérifications ont été instituées en collabo-



Deux tubes de quartz de diamètre différent sont emboîtés l'un dans l'autre, et l'équipage qu'ils forment est suspendu dans un flacon d'Erlenmeyer.

Dans l'espace intertubulaire : suspension bactérienne.

Dans le flacon d'Erlenmeyer et dans la cavité du plus petit tube de quartz : solution hypochloritée. Dans les témoins cette solution est remplacée par de l'eau.

ration avec M. Philippe Bunau-Varilla, vérifications qui semblent en confirmer le bien-fondé. Il convient de dire d'ailleurs que ce fut l'hypothèse par laquelle, dès 1916, M. Philippe Bunau-Varilla imagina d'expliquer le phénomène de l'action des doses ultra-faibles de chlore lorsqu'elles lui furent révélées par les expériences qu'il avait prescrites au laboratoire de la II^e armée en 1916.

Nos expériences en 1923 furent conduites d'après le protocole suivant :

On infecta de l'eau avec une culture de bacilles d'Eberth ou de colibacilles. D'autre part, on ajouta des doses faibles d'hypochlorite de sodium à cette même eau non infectée. On prit ensuite deux tubes de quartz (voir schéma ci-contre), l'un de 12 millimètres de diamètre extérieur, l'autre de 18 millimètres de diamètre intérieur; on introduisit le plus petit dans le plus grand. Dans l'espace annulaire fut versée de la dilution bactérienne, sans hypochlorite de sodium. Dans le tube intérieur fut versée de l'eau additionnée d'hypochlorite de sodium. L'équipage des deux tubes fut ensuite plongé dans la même solution étendue d'hypochlorite de sodium.

En même temps, à titre de témoins, étaient réalisées des installations identiques, mais sans présence nulle part d'hypochlorite. Après vingt-quatre heures d'exposition aux rayonnements supposés, on ensemait en gélose une quantité constante de la dilution bactérienne. La même opération était réalisée avec les témoins.

Si le rayonnement supposé existait, on devait trouver moins de colonies avec les ensemencements supposés irradiés qu'avec les témoins non irradiés. Toutefois, étant donné l'inégale répartition des microbes au sein de la dilution, il fallait s'attendre à ce qu'on vît parfois apparaître dans les tubes irradiés un nombre de colonies supérieur à celui qui se trouvait dans les tubes non irradiés. On ne devait attendre l'expression de la vérité que de l'ensemble moyen des résultats.

Il y eut 60 expériences : 51 furent conformes à l'hypothèse et 9 contradictoires. Le nombre des colonies produites par les tubes témoins de ces soixante expériences fut de 16.207 colonies, alors que les tubes soumis à l'irradiation supposée en donnèrent 11.351 seulement, soit une perte de 29,96 p. 100.

Malgré la grossièreté des moyens employés, l'hypothèse se trouva donc confirmée, alors qu'on avait pris tous les moyens pour éliminer toutes causes d'erreur : obturation minutieuse des zones annulaires, interchangeement des tubes témoins et des tubes soumis à l'irradiation supposée.

Deuxième série de vérifications (17 expériences).

On prit des tubes de quartz de la dimension des tubes à pipette, soit de 3 millimètres de diamètre intérieur. Deux groupes de cinq tubes furent remplis de dilutions bactériennes. L'un de ces groupes était plongé dans de l'eau additionnée d'hypochlorite de sodium et

l'autre dans la même eau non hypochloritée, à titre de témoin. Après six heures d'exposition, ensemencement en gélose, comme il est dit ci-dessus.

Sur 17 expériences, une seule fut contradictoire avec l'hypothèse alors que les seize autres la confirmèrent. Les témoins donnèrent 2.956 colonies, alors que les tubes soumis à l'irradiation supposée en donnèrent 2.226, soit une perte de 24,60 p. 100.

Certaines de ces expériences furent réalisées à la lumière du laboratoire, d'autres dans une chambre obscure.

Avec la lumière, les tubes témoins donnèrent 1 976 colonies, alors que les tubes supposés irradiés en donnèrent 1.646, soit une perte de 16,70 p. 100.

Dans l'obscurité, les tubes témoins donnèrent 980 colonies, alors que les tubes supposés irradiés en donnèrent 580, soit une perte de 40,80 p. 100.

On remarqua en outre que la perte est beaucoup plus grande soit dans la lumière, soit dans l'obscurité, quand la dilution bactérienne contient peu de germes.

Si l'on divise l'ensemble des expériences en deux groupes caractérisés, soit par la grande, soit par la faible densité de la dilution bactérienne et si l'on prend le chiffre de 100 colonies pour la moyenne des tubes témoins comme la limite commune des deux groupes, on trouve :

	PERTE P. 100
Expériences avec moins de 100 colonies au témoin	39
— avec plus de 100 colonies au témoin	22

Si l'on fait la discrimination, en outre, pour les expériences faites à la lumière ou à l'obscurité, on a :

	PERTE P. 100
Expériences à la lumière et avec moins de 100 colonies au témoin . .	34
— — — — plus de 100 colonies au témoin . . .	44
— dans l'obscurité et avec moins de 100 colonies au témoin .	52
— — — — plus de 100 colonies au témoin .	39

L'ensemble des chiffres résultant des deux groupes d'expériences confirme bien l'hypothèse énoncée plus haut.

Le résultat de ces expériences a été contredit dans une note de MM. Dienert et Etrillard, présentée à l'Académie des Sciences le 28 septembre 1927. Mais les chiffres relatifs à ces expériences (chiffres relevés dans un article ultérieur de M. Dienert paru dans

les *Annales d'Hygiène* en décembre 1927) montrent que, sur les sept expériences dont il est fait mention, cinq tubes, sur les sept plongés dans l'eau hypochloritée, ont montré un nombre de microbes inférieur aux nombres relevés dans les tubes correspondants plongés dans de l'eau non hypochloritée.

D'autre part, si l'on additionne tous les microbes comptés dans les tubes soumis aux rayonnements supposés, on obtient un total de 1.081, tandis que l'addition de ceux trouvés dans les tubes plongés dans l'eau non hypochloritée et, par suite, non soumis aux rayons supposés, donne un total de 1.117.

D'où il suit que, tant pour le nombre des tubes que pour le total des microbes, les expériences ne contredisent nullement les résultats obtenus et relatés précédemment, mais qu'au contraire elles les confirment¹.

D'autre part, l'hypothèse que certains pourraient trouver étrange de l'émission de radiations par l'action de l'hypochlorite de soude sur les matières organiques a été confirmée avec éclat par les expériences de M. Louis Mallet relatées dans une note présentée à l'Académie des Sciences, le 1^{er} août 1927, par M. Fabry. L'auteur démontre que l'hypochlorite de soude, mis au contact de solutions d'albumine, de gélatine ou de leurs dérivés (tels que l'urée), émet une luminescence visible. Ces radiations s'étendent d'ailleurs du côté du spectre ultraviolet (au-dessus de 3.000 Angström) et ces dernières radiations peuvent être mises en évidence par des solutions capables de fluorescence, qui montrent ainsi « par ce reflet » l'existence de radiations ultra-violettes émises par l'hypochlorite de soude au contact de solutions très diluées (1/1.000 d'albumine et d'urée).

D'autres réactions oxydantes, mais inorganiques, se produisent aussi avec émission de lumière, par exemple, la réaction de l'hypochlorite de soude à 10° B. et de l'eau oxygénée à 12 volumes qui s'accompagne de luminescence avec coloration rouge.

Application.

Ces principes théoriques dégagés, il était possible de tenter l'application de cette méthode à la purification des eaux de consommation

1. Il convient de noter, d'autre part, que dans les expériences de M. Dienert on a substitué la culture en gélatine à la culture en gélose, modification qui suffit à elle seule, en changeant les conditions de l'expérience première, à en altérer le cours et les résultats.

des grandes villes, et de reprendre ainsi pour le service civil la méthode et les appareils créés en 1916 pour l'armée de Verdun par le commandant Philippe Bunau-Varilla. Ces applications ont été effectuées tout d'abord à Reims, puis à Carcassonne, à Monaco et Bar-le-Duc; elles sont à l'heure actuelle répétées dans un très grand nombre de villes et collectivités, parmi lesquelles on peut citer les villes de Lyon et de Rouen.

Les résultats qu'on en pouvait attendre se sont manifestés dans les deux villes où l'on a pris soin d'en noter plus particulièrement les effets : à Reims par la disparition de tous cas autochtones de fièvre typhoïde ou d'infection gastro-intestinale d'origine hydrique, et à Carcassonne par la régression de 9,12 (chiffre moyen) à 1 du nombre des cas de fièvre typhoïde et par la diminution de 31 pour 100.000 habitants à 5 du nombre des décès pour même maladie.

Conclusions.

S'il faut une conclusion à la première partie de ce travail, je la formulerai en disant qu'il est possible de réaliser une destruction presque immédiate ou, du moins, une altération profonde des conditions de la vie microbienne par l'addition à l'eau où ces microbes sont en suspension, et dans un brassage violent, de doses très faibles de chlore de l'ordre du décimilligramme, doses imperceptibles au goût.

Il peut être fait application de ces données théoriques au problème de la purification des eaux de consommation ou autres des grandes villes.

La sécurité que procure cette solution élégante, économique et simple paraît suffisante; elle appartient, en tous cas, à l'ordre des garanties et, je dirais, des probabilités qu'on réclame des applications de la science.

Au reste, la science elle-même, devenue modeste par nécessité et rude apprentissage, ne prétend plus à l'absolu. Ses lois les plus rigoureuses ont pris le caractère de lois statistiques. M. Émile Borel, analysant dans la *Revue philosophique* un Traité de probabilités, signalait l'opposition qui existe entre l'esprit juridique, soucieux de précisions apparentes qui dépassent les précisions réelles, et l'esprit scientifique qui ne peut atteindre l'exactitude au delà de la deuxième ou de la troisième décimale.

Pourquoi serions-nous plus exigeants dans les applications de la science à l'hygiène?

DEUXIÈME PARTIE

ACTION EXERCÉE SUR LES BACTÉRIES PAR LES POUDRES MÉTALLIQUES A DIVERS ÉTATS DE SUSPENSION

Notre nature est ainsi faite que le succès nous donne des ailes et nous incite à la présomption. Il n'est que d'avoir réussi pour s'imaginer que la bonne fortune nous accompagne dans nos tentatives.

C'est dans ces conditions qu'après avoir obtenu les résultats exposés plus haut pour la purification des eaux potables on entreprit d'appliquer la même méthode au traitement des eaux usées.

Il surgit tout d'abord quelques difficultés de simple technique. Les expériences précédentes ayant démontré que le brassage violent est aussi nécessaire que l'antiseptique lui-même, du moins réduit aux faibles doses, on se pourvoit, pour traiter les eaux d'égout à l'instar des eaux de boisson, d'une petite pompe centrifuge qui réalise au laboratoire une réduction des grands modèles des usines, pompe mue électriquement et débitant environ 1 litre à la minute.

Dans les premiers essais on exécute durant cinq minutes le brassage de divers échantillons d'une eau d'égout répartie en ballons de 100 cent. cubes auxquels on ajoute préalablement des quantités de chlore libre variables suivant les échantillons et correspondant respectivement à 1, 2 ou 3 décimilligrammes. L'eau aspirée dans chaque ballon mis en expérience y est refoulée par le jeu naturel de la pompe; il se produit ainsi un brassage assez violent. Après cinq minutes, on procède aux ensemencements en gélose (boîtes de Petri) de l'eau traitée et de l'eau témoin et, quarante-huit heures après, on fait le dénombrement des colonies.

On constate avec le plus grand étonnement que, malgré les faibles

doses de l'antiseptique employé et la quantité considérable de matières organiques en suspension, la diminution des germes de l'eau traitée par rapport au témoin atteint 80 à 90 p. 100, résultat qui équivaut presque à une stérilisation.

Ces observations sont par elles-mêmes si singulières que, malgré la constance de leur reproduction dans des expériences ultérieures, on hésite à accepter le bien-fondé du mécanisme invoqué pour expliquer leur réalisation.

Aussi, comme il convient, dans des cas semblables, non seulement de multiplier les expériences mais encore de les varier, on se décide à traiter les mêmes eaux par le seul brassage sans addition préalable de chlore, et l'on prend soin, d'autre part, de procéder aux ensemencements de vérification non seulement à l'issue du brassage (ce qui sera appelé temps 0), mais encore trois heures et six heures après la fin de ce dernier (ce qui sera appelé respectivement temps 3 et temps 6).

Voici les résultats d'expériences effectuées avec l'eau d'égout de la ville de Paris¹, avec l'eau d'égout de la ville de Reims et avec des eaux artificiellement polluées par addition de bacilles coli et de bacilles typhiques.

QUALITÉ DE L'EAU TRAITÉE	TÉMOIN Nombre de colonies par 1/10 de cent. cube	NOMBRE DE COLONIES par 1/10 de cent. cube dans les échantillons brassés 5 minutes à la pompe centrifuge et ensemencés aux temps :		
		0	3	6
Eau d'égout de Paris	48.400	5.160	630	240
— — de Reims	64.000	60.000	2.290	2.000
— — — — —	20.800	20.000	2.500	2.170
— distillée infectée de bacilles coli et typhiques.	12.000	11.000	4	0
Eau distillée infectée de bacilles coli et typhiques.	55.000	50.000	3.200	0

1. Les eaux d'égout de la ville de Paris m'ont été apportées par M. le Dr Cambier, chef du service du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris. Les expériences de brassage effectuées au Laboratoire de l'Ecole de Médecine de Reims ont donné lieu à des ensemencements sur milieu solide (gélose et gélatine); l'observation de ces cultures a été poursuivie contradictoirement à Paris et à Reims. M. le Dr Cambier a bien voulu me faire connaître par lettre du 21 juin 1927 le résultat de ces expériences (soit réduction de 73 à 80 p. 100 des bactéries dans le cas d'ensemencement immédiatement consécutif au brassage et réduction de 90 à 96 p. 100 dans le cas d'ensemencement trois heures après le brassage).

Il ressort de ces observations que le seul brassage à la pompe centrifuge suffit à débarrasser les eaux impures d'une proportion de bactéries qui, dans les cas les moins favorables, atteint 90 p. 100 et



Eau distillée infectée de coli et typhiques.

A gauche, eau témoin aux temps 0 heure, 3 heures, 6 heures.

A droite, même eau brassée 5 minutes aux temps 0 heure, 3 heures, 6 heures.

peut s'élever même jusqu'à la totalité et réaliser par conséquent la stérilisation, comme l'indique la photographie ci-dessus. Il convient toutefois de noter que l'action destructrice ne semble pas immédiate,

ou, du moins, qu'elle continue à s'effectuer au cours du temps, de telle sorte qu'elle ne se complète qu'en un temps compris entre la troisième et la sixième heure qui suit le brassage.

Pour préciser encore ce fait et lui donner une confirmation nouvelle, on traite par le brassage (cinq minutes) une eau artificiellement infectée de colibacilles et l'on procède à l'ensemencement immédiat, puis après trois heures et après six heures, de 1 cent. cube de cette eau, ensemencement effectué en milieu liquide (bouillon de Rochaix en rouge neutre, véritable indicateur du colibacille).

Voici les résultats relevés après quarante-huit heures d'étuve :

TEMPS 0		TEMPS 3		TEMPS 6	
Témoin	Expérience	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience
— +	— +	— +	— 0	— +	— 0

Le phénomène de la stérilisation se présente donc avec constance. Voilà un fait établi, dont il reste maintenant à déterminer le mécanisme.

Puisque le brassage par la pompe est suffisant pour stériliser une eau très impure, il convient tout d'abord de rechercher si cette opération même apporte à la nature des liquides qui y sont soumis et par son propre jeu quelques modifications perceptibles.

A cet effet, on soumet au brassage durant cinq minutes 100 cent. cubes d'eau distillée, opération qui contraint cette eau à traverser 50 fois environ le corps de la pompe.

Or, on constate qu'après ce traitement l'eau est devenue trouble, opalescente et présente les caractères physiques d'une émulsion. Au reste, cette émulsion offre des caractères de stabilité très évidents; car elle ne se condense en dépôt ni par l'effet prolongé de la pesanteur ni sous l'influence d'une centrifugation poursuivie durant une heure à très grande vitesse (6.000 tours environ par minute).

D'autre part, l'examen à l'ultra-microscope montre l'existence de grains brillants, mobiles ou plutôt animés de ces frétilllements qui caractérisent les mouvements browniens. C'en est assez pour conclure qu'on se trouve en présence d'une suspension de cuivre à l'état de grains très fins, probablement responsable des stérilisations plus haut notées.

Pour établir la nature chimique de ces grains, on ajoute à la suspension supposée cuivrique du ferrocyanure de potassium. On n'obtient aucune réaction. Mais si l'on traite préalablement cette

liqueur trouble par de l'acide chlorhydrique et que l'on porte le mélange à l'ébullition, l'addition du même ferrocyanure de potassium donne lieu à la formation d'un précipité bleu de ferrocyanure de cuivre, l'intervention de l'acide ayant eu pour résultat de transformer le cuivre métallique en un sel cuivrique, générateur de la réaction colorée.

Le dosage du cuivre effectué par la méthode de Haen et Low donne une teneur comprise entre 4 et 6 dixièmes de milligramme par litre pour une eau brassée à raison de 100 cent. cubes pendant cinq minutes¹.

Il convient maintenant de se rendre compte du pouvoir antiseptique de cette solution. A cet effet, on procède à des expériences semblables aux précédentes. Cette eau distillée, ainsi traitée, est infectée directement par l'addition de colibacilles ou de bacilles typhiques; des prélèvements effectués sur cette eau, immédiatement après l'infection, et trois heures plus tard, prélèvements ensemencés en gélose et comparés à des prélèvements similaires effectués aux mêmes temps sur des témoins, montre que la stérilisation partielle est immédiate, et que le complément de son action se poursuit régulièrement dans le temps. Autre expérience : 50 cent. cubes d'eau distillée traitée à la pompe centrifuge sont ajoutés à 50 cent. cubes d'eau d'égout brute; des ensemencements de ce mélange sont effectués immédiatement et après trois heures; d'autres ensemencements sont effectués, en manière de témoins, avec l'eau d'égout brute; la numération des colonies après quarante-huit heures d'étuve montre que la réduction des colonies atteint dans le mélange d'eau d'égout et d'eau brassée: 78 à 80 p. 100 dès le début de l'expérience et 90 à 95 p. 100 après trois heures.

Ces résultats vraiment singuliers nous révèlent l'existence de deux phénomènes dont l'étrangeté surprend : tout d'abord, le seul jeu d'une pompe centrifuge permet d'obtenir une suspension de grains métalliques à l'état pseudo-colloïdal; et, d'autre part, cette suspension présente des qualités antiseptiques extrêmement accusées.

Il était dès lors naturel de se demander si l'on ne pourrait obtenir

1. Cette recherche a été faite par M. Clogne, ancien chef de laboratoire de la Faculté de Médecine de Paris à qui j'adresse mes remerciements. Technique : solution évaporée, traitée par l'acide azotique, additionnée, après élimination des traces de peroxyde d'azote, d'iodeure de potassium. Formation d'iode, titré par solution $\frac{N}{10}$ ou $\frac{N}{100}$ d'hypo-sulfite de soude en présence d'empois d'amidon.

les mêmes réalisations — au degré près — en remplaçant ce brassage mécanique par l'agitation à la main d'une eau où seraient préalablement introduites des poudres métalliques.

Pour répondre à cette question on entreprend des expériences qui sont conduites d'après le protocole suivant : des quantités définies (100 cent. cubes) d'eaux artificiellement polluées par l'addition de cultures pures de colibacilles reçoivent un volume défini (1 cent. cube) de poudres métalliques diverses : cuivre, bronze, laiton, étain, antimoine et plomb (chaque expérience comportant l'essai d'une seule poudre). Afin de faciliter l'agitation, on introduit avec la poudre des perles de verre. L'agitation à la main, ou, si l'on veut, la succussion des récipients (ballons de verre en général) est poursuivie durant dix minutes. Une même quantité du liquide initial infecté (eau artificiellement polluée) est conservée comme témoin. L'agitation terminée, on prélève aussitôt dans ce témoin et dans les ballons en expérience une égale quantité d'eau qui estensemencée en gélose (boîte de Petri). Des prélèvements semblables sont opérés simultanément, dans le témoin et dans les ballons en expérience, à des temps variables après la fin de l'agitation. Après quarante-huit heures de mise en culture à l'étuve, on procède au dénombrement des colonies.

Notons tout de suite, et pour n'y plus revenir, que les seules poudres qui aient affirmé une action positive sont les poudres de cuivre, de bronze et de laiton ; celles de plomb se montrent moins actives ; les poudres d'étain et d'antimoine sont tout à fait inactives.

Nous ne retiendrons donc que les résultats des premières que la lecture des tableaux suivants met en évidence.

Expériences effectuées avec la poudre de bronze (composition du bronze : Cu, 90 p. 100 ; Sn, 8 p. 100 ; Zn, 2 p. 100) :

Nombre de colonies par centimètre cube.

	APRÈS 5 MINUTES		APRÈS 1 HEURE		APRÈS 2 HEURES	
	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience
Première expér. .	Innombrable.	Innombrable.	Innombrable.	800	Innombrable.	3
Deuxième expér. .	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	800	<i>Id.</i>	8
Troisième expér. .	"	"	1.200	0	"	"

Expériences effectuées avec la poudre de cuivre (la numération des colonies provenant du témoin n'a été pratiquée qu'au début de l'expérience) :

Nombre de colonies par centimètre cube.

	TÉMOIN à l'origine	APRÈS 15 MINUTES		APRÈS 30 MINUTES		APRÈS 1 HEURE	
		Exp. cuivre	Exp. laiton	Exp. cuivre	Exp. laiton	Exp. cuivre	Exp. laiton
Première expérience . .	Innombrable.	315	»	58	»	4	»
Deuxième expérience .	Innombrable.	»	130	»	93	»	3

Au cours de ces expériences, on remarque d'autre part que la poudre de cuivre qui a servi plusieurs fois à la réalisation de ces expériences tend à perdre son efficacité et manifeste une diminution de son pouvoir bactéricide; phénomène qu'un biologiste rencontre en toutes occasions au cours de ses recherches et qui caractérise ce que, chez un être vivant, il appelle la fatigue.

On entreprend alors une autre série d'expériences tendant à la vérification du même phénomène; mais on fait usage d'un protocole différent, qui consiste à filtrer les eaux impures sur un lit de poudre de bronze, en notant la durée de la filtration, puis, celle-ci effectuée, on ensemence en gélose (boîte de Petri) comme précédemment, et à des temps différents, témoins et eaux en expérience.

Les deux résultats qui suivent sont obtenus après filtration pendant deux minutes d'une eau souillée de colibacilles. La numération des colonies est faite après vingt-quatre heures d'étuve.

Nombre de colonies par centimètre cube.

	IMMÉDIATEMENT après filtration		APRÈS 1 HEURE		APRÈS 2 HEURES		APRÈS 3 HEURES	
	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience	Témoin	Expé- rience
1 ^{re} exp.	Innombrable.	Innombrable.	Innombrable.	Innombrable.	Innombrable.	Innombrable.	Innombrable.	450
2 ^e exp.	Id.	Id.	Id.	620	2 500	600	500	33

Une dernière série d'expériences consiste à filtrer 100 cent. cubes d'eau d'égout sur poudre de bronze (durée de la filtration : dix minutes), puis à diluer 10 cent. cubes de cette eau filtrée dans un litre d'eau ordinaire (par analogie lointaine avec ce qui se produirait si une eau d'égout était, après un tel traitement, rejetée dans une rivière); 1 cent. cube de cette dilution estensemencé en gélose après des temps variables et la numération des colonies est effectuée après vingt-quatre heures d'étuve. Onensemence de même 1 cent. cube d'une dilution au même titre d'eau non filtrée servant de témoin.

Nombre de colonies par centimètre cube.

	IMMEDIATEMENT APRÈS DILUTION		APRÈS 3 HEURES		APRÈS 24 HEURES	
	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience	Témoin	Expérience
Première expér. .	250	67	325	4	104	1
Deuxième expér. .	120	27	97	8	»	»

Il ressort de l'ensemble de ces expériences que les pseudo-solutions de cuivre exercent une action hautement stérilisante sur les suspensions microbiennes et que des effets de même sens peuvent être obtenus par les poudres métalliques finement divisées, soit qu'on les agite dans l'eau où les germes bactériens sont en suspension, soit qu'on filtre ces derniers à leur travers.

On remarque d'autre part que l'action stérilisante, c'est-à-dire destructrice, n'est pas immédiate, mais qu'elle se poursuit et s'accroît avec le temps, alors même que l'action directe de la cause efficiente n'est plus immédiatement en jeu, comme il est noté dans la dernière expérience où les eaux souillées sont diluées, après filtration sur poudre métallique, dans un volume cent fois supérieur au leur et continuent cependant à se dépouiller des germes qu'elles tiennent en suspension ¹.

1. On note le même phénomène dans le cas de l'épuration des eaux par des doses très faibles de chlore. L'action stérilisante de ce dernier ne s'épuise pas immédiatement dans un évanouissement rapide et fulgurant. Il semble que cette action persiste un certain temps, soit que les germes atteints ne soient pas tous instantanément détruits, et que la désorganisation intime se poursuive chez certains d'entre eux de façon à réaliser après un certain temps la destruction définitive et la mort, soit qu'il s'agisse d'un phénomène d'une autre sorte qui rejoindrait celui que Blanc a décrit sous le nom de « rémanence ». *La radiolyse chimique*, p. 63.

Il reste à déterminer le mécanisme de ces actions singulières.

En ce qui concerne la pseudo-solution de cuivre obtenue par le jeu de la pompe centrifuge, on pourrait invoquer le pouvoir antiseptique déjà connu des métaux colloïdaux (collargol, électrargol) ¹.

D'autre part, Shiro Takayama a montré récemment que les solutions colloïdales des métaux lourds, toxiques pour les bactéries, sont dépourvues d'action destructrice sur les ferments (pepsine, trypsine, lab, lipase, pancréatine), dont, au contraire, ils activent parfois les propriétés diastasiques.

Mais cette évocation de qualités nouvelles ne fait qu'élargir le problème et ne le résout pas.

On admet, en effet, que les actions chimiques, quelles qu'elles soient, ne se réalisent que si les corps en réaction sort à l'état de dissolution (*corpora non agunt, nisi soluta*). Cet axiome des temps anciens paraît conserver encore, théoriquement du moins, toute sa valeur.

Mais il s'agit ici d'un corps métallique qui est considéré comme à peu près insoluble dans l'eau et qui se présente sous forme de suspension ou de pseudo-solution, états qui sont également caractéristiques d'un degré élevé d'insolubilité.

Dès lors, que penser? Action de contact, ou, comme on l'a dit récemment, sans préciser convenablement le sens donné à ce terme, action oligodynamique?

Raulin a constaté depuis fort longtemps que l'*Aspergillus* se développe mal dans des vases d'argent.

D'autre part, Anna Drzewina et Georges Bohn ont montré, dans des notes successives présentées à l'Académie des Sciences, que le séjour dans un vase d'argent a un effet néfaste sur les spermatozoïdes d'Oursin qui perdent leur pouvoir fécondant après quelques minutes. Les larves d'Oursin au stade pluteus sont paralysées et désintégrées, par cytolyse, après cinq à dix minutes de séjour dans une coupelle d'argent. Quant aux Convoluta qu'on maintient dans un verre de montre où l'on introduit d'autre part une lamelle d'argent, elles meurent en quelques minutes si cette expérience est effectuée à la lumière vive du jour, tandis que la mort ne se produit qu'après plusieurs heures, si le verre de montre est recouvert d'un voile noir, établissant une obscurité relative.

1. Travaux de FILIPPI montrant que les solutions métalliques colloïdales détruisent les protistes (paramécies, vorticelles, opalines), et travaux de Cernovodeanu, Victor Henri, Charrin, Monnier-Vinard, Chirié, établissant le pouvoir désinfectant de ces mêmes solutions à l'égard de diverses bactéries.

Toutes ces actions concordent dans leurs effets; mais leur mécanisme reste encore imprécis.

Pour tenter d'éclairer ces ténèbres, on a forgé diverses hypothèses provoquant la recherche.

On a tout d'abord supposé que les granules de métal en suspension sont capables d'exercer une action de surface telle qu'elle provoquerait l'adhésion et même la fixation des germes bactériens à leur contour. Il se passerait, dans cette hypothèse, un phénomène analogue à celui qui se réalise au cours de la filtration d'une suspension microbienne au travers d'un corps poreux (bougie de porcelaine). On sait, en effet, que les microbes ne sont retenus à l'intérieur de ces filtres que par l'intervention de forces capillaires qui les appliquent et les fixent contre les parois des innombrables méandres dont se compose la porcelaine poreuse et qu'il s'agit ici de simples phénomènes de surface et non d'une action grossièrement sélective analogue à celle qu'exercerait un crible sur des particules dont les dimensions excèdent le volume des espaces filtrants ¹.

A cet effet, on soumet à une centrifugation violente (6.000 tours à la minute) plusieurs échantillons de la suspension de cuivre polluée par l'addition de germes bactériens (colibacilles). Ces centrifugations sont exécutées peu de temps après le début de la mise en expérience et répétées quelques heures plus tard. On constate, dans les 2 cas, que les microbes se rassemblent en dépôt au fond du tube de centrifugation, tandis que la suspension cuivrique conserve un caractère opalescent. On peut en conclure que les germes bactériens ne contractent avec les grains métalliques aucune adhésion solide et durable.

Le résultat négatif de cette première recherche nécessite la mise en jeu d'une nouvelle hypothèse, d'après laquelle les particules métalliques en suspension réaliseraient à leur entour un champ de force de nature indéterminée. Pour contrôler cette supposition on imagine de soustraire les bactéries à l'action supposée des grains métalliques par l'interposition d'un écran et l'on choisit, à cet effet, la gélatine.

L'expérience de vérification est ainsi conduite : l'eau brassée à la pompe, c'est-à-dire chargée de particules de cuivre en suspension, est divisée en deux échantillons de 100 cent. cubes : l'un reçoit 1 cent. cube d'une solution (pseudo-solution) de gélatine à 3 p. 100 dans l'eau bidistillée, l'autre sert de témoin; tous deux sont infectés

1. Jacques DUCLAUX. Les colloïdes, pages 61 et suiv.

par l'addition d'une même quantité d'émulsion de colibacilles. Des prélèvements opérés à des temps variables donnent lieu à des ensemencements en gélose (boîte de Petri) et la numération des colonies est effectuée après vingt-quatre heures d'éluve. Les résultats sont les suivants : l'ensemencement du témoin reste absolument stérile ainsi qu'il était prévu ; l'ensemencement du tube en expérience donne lieu au développement d'innombrables colonies. On ne saurait interpréter ces résultats en les attribuant au caractère nutritif de la gélatine ajoutée aux solutions en expérience : car l'addition de 1 cent. cube d'une solution à 3 p. 100 de gélatine réalise une dilution de celle-ci à 3/10.000, ce qui représente de toute évidence une dose insuffisante pour modifier les phénomènes ordinaires de la nutrition. Il reste donc que cette action de la gélatine peut être rapportée à un rôle protecteur analogue à celui qu'on avait envisagé dans l'hypothèse primitive.

On ne saurait ici même aller plus avant. Il faut se résoudre à certaine ignorance et accepter provisoirement une part d'inconnue dans les phénomènes. Ces actions singulières se rattachent d'autre part à celles non moins étranges qu'exercent les infiniment petits chimiques qui, sous la forme d'ions métalliques suspendus à des micelles colloïdales organiques, constituent dans les humeurs et les tissus la partie vraiment active (et probablement la seule active) des ferments et diastases et leur confèrent leur caractère de spécificité.

D'autre part, Boutaric a montré récemment, dans un travail sur la floculation des solutions colloïdales, qu'un colloïde inorganique, tel que le sulfure d'arsenic, est protégé contre la floculation que provoque l'addition de chlorures alcalins par des doses extrêmement faibles d'ammoniaque, doses inexprimables pondéralement, correspondant aux quantités ultra-réduites que peut absorber cette suspension colloïdale lorsqu'elle est placée au voisinage d'un flacon débouché d'ammoniaque dégageant ses propres valeurs.

Boutaric fait, en outre, observer que dans d'autres conditions expérimentales l'introduction dans un colloïde de substances étrangères aux mêmes doses ultra-réduites accroît, au contraire, la vulnérabilité de ce colloïde qui devient ainsi « hypersensible », c'est-à-dire plus instable, et flocule par conséquent plus aisément et plus rapidement.

On est conduit de proche en proche à évoquer le rôle des autres agents infiniment ténus qui, sous le couvert des doctrines homéopathiques, ont été introduits dans la pratique médicale, et qui

réalisent par l'action de doses très faibles et réfractées telles modifications des humeurs ou des tissus par le jeu desquelles s'accomplit parfois le retour à la santé.

Au terme de cet exposé, on éprouve quelque embarras à conclure, car on ne saurait clore par une interprétation doctrinale et définitive l'ensemble des faits présentés ici en faisceau plus ou moins cohérent. Pour y parvenir il convient que des données nouvelles surgissent d'un effort continué.

Mais si l'on est conduit par la nécessité à apporter un terme à ce travail, et si l'on sent toute l'imperfection qui résulte de la présentation d'une œuvre inachevée, on fait réflexion qu'il en est ainsi de toutes les manifestations de l'activité humaine. La matière que nous travaillons n'est jamais si bien ouvrée qu'il n'y ait intérêt et profit à poursuivre plus loin la recherche de la perfection. Et lorsque nous prétendons que notre œuvre est terminée, c'est moins à son égard qu'au nôtre que nous portons ce jugement. En vérité, rien ne finit; tout se poursuit ou peut se poursuivre interminablement. Le mot fin que nous inscrivons au terme de nos recherches et de nos efforts est l'expression de notre incapacité définitive ou temporaire à les continuer plus longtemps.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL

I. — La première partie de ce travail a eu pour objet de mettre en évidence l'action destructrice exercée sur les bactéries en suspension dans l'eau par des doses très faibles de chlore, de l'ordre du décimilligramme, introduites sous agitation violente. L'application de ces données à la pratique permet d'obtenir par l'emploi d'un procédé simple la purification des eaux de consommation.

II. — La deuxième partie tend à montrer que certaines poudres métalliques très divisées, introduites par un procédé mécanique dans une eau chargée d'une suspension bactérienne ou mises au contact de cette suspension au cours d'une filtration qui s'accomplit à leur travers, exercent sur lesdites bactéries une action destructrice qui, dans quelques cas hautement favorables, peut atteindre la stérilisation.

Ces expériences vérifient par un mode nouveau la réalité des observations dénommées actions de contact ou actions oligodynamiques de certains métaux. Elles montrent, d'autre part, que dans le domaine chimico-physique, dont l'exploration est particulièrement délicate, les bactéries peuvent à l'occasion révéler certains phénomènes difficilement perceptibles et se hausser à la qualité d'indicateurs.

BIBLIOGRAPHIE

- BLANC (J.). In *La Radiolyse chimique*.
- BLANC et BLANCHART. *La Verdunisation Bunau-Varilla à Carcassonne*, 1928, imprimerie Gabelle, Carcassonne.
- BOREL (Émile). *Revue philosophique*, 1924.
- BOUTARIC. *Journal de Pharmacie et de Chimie*, 1928.
- BUNAU-VARILLA (Philippe). *L'auto-javellisation imperceptible*, 1926, Baillière.
- BUNAU-VARILLA (Philippe). *La Radiolyse chimique*, 1927, Baillière.
- BUNAU-VARILLA (Philippe) et TÉCHOUEYRES. *C. R. Acad. des Sciences*, 1925.
- CERNOVODEANU et HENRI (V.). *C. R. Soc. de Biol.*, 1906.
- CHARRIN, HENRI (V.) et MONNIER-VINARD. *C. R. Soc. de Biol.*, 1906.
- DIENERT et ETRILLARD. *C. R. Acad. des Sciences*, 1927.
- DIENERT. *Annales d'Hygiène*, 1927.
- DRZEWINA (Anna) et BOHN (Georges). *C. R. Acad. des Sciences*, 28 juin 1926-18 octobre 1926.
- DUCLAUX (Jacques). *Les Colloïdes*, 1920, Gauthier-Villars.
- FILIPPI (E.). *Lo sperimentale*, 1908.
- JAMES (William). *Philosophie de l'expérience*.
- KHAYYAM (Omar). *Les Robaiyat*, Piazza.
- MALLET (Louis). *C. R. Acad. des Sciences*, 1927.
- PERRIN (Jean). Matière et Lumière, *Annales de Physique*, 1919.
- TAKAYAMA (Shiro). *Acta Schola Medicinalis Universitatis Imperialis in Kioto*, vol. VIII, fasc. 4, 1926.
- VALERY (Paul). Variété. *Au sujet d'Adonis*.
-

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Immunité chez les végétaux. Les environs de Reims au point de
vue géologique et hydrologique.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 16 février 1929.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

G. MAURAIN

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

S. CHARLÉTY

